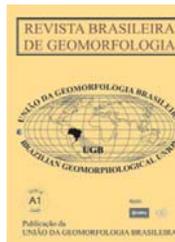




www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 16, n° 1 (2015)



ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA BACIA DO GUARAPIRANGA, REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO: PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO

GEOENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE GUARAPIRANGA RIVER BASIN, SÃO PAULO METROPOLITAN REGION: SEDIMENT PRODUCTION AND SILTATION OF THE RESERVOIR

William de Queiroz

*Laboratório de Geoprocessamento, Universidade Guarulhos
Praça Tereza Cristina, 229, Centro, Guarulhos, São Paulo, CEP: 07155-000, Brasil
Email: wqueiroz@ung.br*

Antonio Manoel dos Santos Oliveira

*Laboratório de Geoprocessamento, Universidade Guarulhos
Praça Tereza Cristina, 229, Centro, Guarulhos, São Paulo, CEP: 07155-000, Brasil
Email: aoliveira@prof.ung.br*

Marcio Rossi

*Instituto Florestal
Rua do Horto, 931, Tremembé, São Paulo, São Paulo, CEP: 02377-000, Brasil
Email: rossi.10@uol.com.br*

Antonio Roberto Saad

*Laboratório de Geoprocessamento, Universidade Guarulhos
Praça Tereza Cristina, 229, Centro, Guarulhos, São Paulo, CEP: 07155-000, Brasil
Email: asaad@prof.ung.br*

Marcio Roberto Magalhães de Andrade

*Laboratório de Geoprocessamento, Universidade Guarulhos
Praça Tereza Cristina, 229, Centro, Guarulhos, São Paulo, CEP: 07155-000, Brasil
Email: magalhaes_andrade@ig.com.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
05/11/2014
Data de Aprovação:
11/03/2015

Resumo:

A atual crise da água, resultante da perda qualitativa e quantitativa dos mananciais e do aumento das necessidades de suprimento, caracteriza o reservatório Guarapiranga, o segundo maior manancial do sistema de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, como um dos exemplos mais

Palavras-chave:

Guarapiranga; Produção de Sedimentos; Assoreamento.

Keywords:

Guarapiranga; Sediment Yield, Silting.

críticos. O problema da degradação da água armazenada nesse reservatório é gerado, sobretudo, pela contaminação por esgoto, mas também é provocado pela perda de volume, devida ao assoreamento. Este processo, considerado um efeito do desequilíbrio ambiental na bacia, devido à ocupação, é o objeto deste trabalho que aborda a análise do potencial de produção de sedimentos da bacia contribuinte. Neste sentido, foi realizada uma análise comparativa do comportamento das sub-bacias quanto à erosão, à transferência e à produção de sedimentos, que revelou que as sub-bacias de grande porte constituem as principais fontes de sedimentos do reservatório. Entretanto, suas configurações geomorfológicas de atenuação do relevo, das cabeceiras para o reservatório, com a formação de extensas planícies aluvionares até as desembocaduras, favorecem a retenção dos sedimentos, sobretudo os mais grosseiros, permitindo que apenas sedimentos em suspensão possam contribuir para assorear o fundo do reservatório. Dentre estas sub-bacias destaca-se a do Embu Mirim. Por outro lado, embora com taxas de produção menores, as sub-bacias de menor porte, junto ao reservatório, quando ocupadas por áreas urbanas, como a do Guavirutuba, produzem localmente deltas que avançam no reservatório. Este quadro sugere um assoreamento de fundo generalizado, com camadas de sedimentos finos, acrescido de deltas de sedimentos mais grossos nas desembocaduras das pequenas sub-bacias ocupadas, junto ao reservatório. Conclui-se que as áreas próximas ao reservatório são as áreas geoambientalmente mais sensíveis à ocupação do solo com respeito ao assoreamento e devem ser objeto prioritário de cuidado do poder público.

Abstract:

The current water crisis, resulting from the qualitative and quantitative loss of water sources and increased supply needs, highlights the Guarapiranga reservoir, the second largest water supply system of the São Paulo Metropolitan Region, as one of the most critical examples. The problem of stored water degradation in this reservoir is due mainly by sewage contamination, but it's also related with storage volume losses due to siltation. This process, considered an effect of environmental imbalance in the basin due to occupation, is the object of this paper which approach is the analysis of potential sediment yield from tributary basin. In this sense, this work makes a comparative analysis of the behavior of sub-basins related to erosion and sedimentary production and flow, which revealed that larger sub-basins are the main sources of reservoir filling by sediments. However, the attenuation of the relief gradient from headboards to the reservoir, leading to the formation of extensive alluvial plains, favors the retention of the coarse sediments, allowing only fine suspended sediments to accumulate at the bottom of the reservoir. The Embu Mirim river basin stands out among these basins. Moreover, although with lower sedimentary production rates, smaller basins adjacent to the reservoir, when urbanized such as Guavirutuba river basin, locally produce alluvial fans advancing the reservoir. This framework suggests a generalized bottom silting with layers of fine sediments overlaid by coarser sediments in the mouths of occupied small sub-basins. In conclusion, in what concerns to land occupation, the areas along the reservoir are the environmentally more sensitive ones in relation to silting, and must be a priority object of government care.

1. Introdução

Com a crescente demanda por água, acompanhada da perda de mananciais, estudos que abordam os condicionantes da conservação desse recurso assumem vital importância, como um caminho para a solução dos problemas de abastecimento. Dentre a perda de mananciais, destaca-se a dos recursos hídricos armazenados em reservatórios que se manifesta pela queda da qualidade das águas, devida à poluição, bem como pela diminuição do volume armazenado, devida ao

assoreamento.

Esta análise geoambiental da bacia do Guarapiranga, que constitui uma primeira aproximação à avaliação do assoreamento, foi realizada no âmbito do Projeto FAPESP “*Reconstrução paleolimnológica da Represa Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP com vistas ao gerenciamento do abastecimento*” (BICUDO, 2010; FONTANA *et al.*, 2014), cujo propósito é subsidiar medidas de recuperação e conservação da água,

assim como a elaboração de cenários ambientais, para o gerenciamento dos mananciais da RMSP – Região Metropolitana de São Paulo.

Deve-se considerar a extrema complexidade do problema em foco que demanda o equacionamento de processos que atuam desde as áreas fontes de sedimentos na bacia, até o assoreamento do reservatório. Este quadro complexo é traduzido por Walling (1983) como um problema do tipo caixa – preta, ou seja, a quantificação da erosão assim como o transporte dos sedimentos nos canais fluviais tem avançado respectivamente na Engenharia Agrícola e na Engenharia de Sedimentos, mas não se têm verificado avanços significativos na dinâmica da transferência de sedimentos entre as áreas fontes e as áreas de sedimentação. Esta questão já foi levantada há muito tempo ao se separar os significados da perda de solos por erosão e da produção de sedimentos das bacias, como, por exemplo, Trimble (1975).

Ainda deve-se considerar que são poucas as pesquisas brasileiras sobre o tema da produção de sedimentos de bacias hidrográficas na área da Geomorfologia ou Geologia (OLIVEIRA, 2013), verificando-se uma frequência maior na área de Engenharia de Sedimentos (CARVALHO, 2008). Desta maneira, o meio técnico carece de mais exemplos de abordagens das Geociências.

Portanto, uma análise geoambiental do problema pode começar por uma abordagem qualitativa dos condicionantes principais e com observações de campo que enriqueçam a discussão buscando consistência entre

os fenômenos observados e os fatores condicionantes analisados, conforme pesquisa desenvolvida por Queiroz (2014).

2. Objetivos

Esta análise geoambiental tem por principal objetivo levantar e interpretar as características geoambientais naturais, do clima, da geologia, geomorfologia e pedologia, que se manifestam como principais fatores condicionantes ao assoreamento da bacia contribuinte do reservatório do Guarapiranga. A bacia do Guarapiranga ocupa uma área de 639 km², com um perímetro de 85 km, área de 34 km², profundidades média e máxima de 5,7 m e 13,0 m, respectivamente (BEYRUTH, 2000; ANDRADE, 2005). O reservatório possui um volume total de 194 milhões de m³ (MOZETO *et al.* 2001). Os principais tributários que alimentam a represa são os rios Embu-Mirim, na margem esquerda e o Caulim, na margem direita. Os contribuintes, rio Embu Guaçu e o ribeirão Santa Rita, correspondem aos rios formadores das cabeceiras de montante da bacia (MATEUS 2006).

A bacia do Guarapiranga situa-se na bacia do Alto Rio Tietê, porção sudoeste da RMSP, compreendendo parte dos territórios dos municípios de São Paulo (211 km²) e Embu das Artes (41 km²), a quase totalidade territorial de Itapequerica da Serra (183 km²) e Embu Guaçu (162 km²), além de porções relativamente pouco extensas e pouco habitadas dos municípios de Juquitiba, São Lourenço da Serra e Cotia, conforme Figura 1.

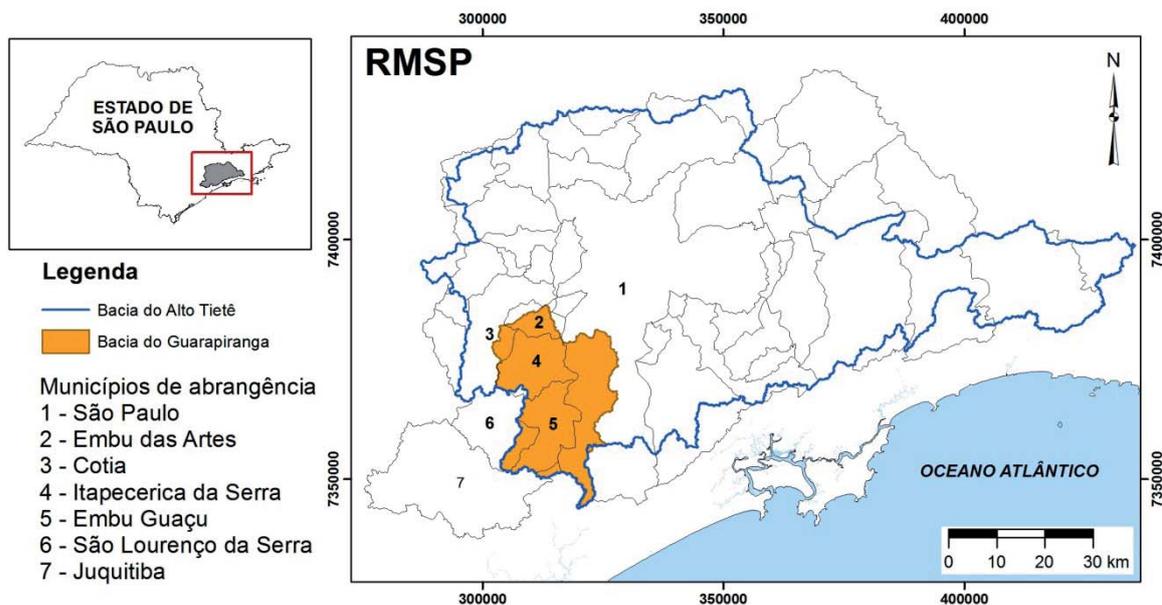


Figura 1 - Localização da Bacia do Guarapiranga na Bacia do Alto Tietê e RMSP.

O reservatório foi formado no início do século XX com a construção da barragem em 1909, pela empresa “*The São Paulo Tramway, Light and Power Company*”, visando a atender a crescente demanda energética do Estado de São Paulo. Por volta dos anos de 1930 a represa passou a ser utilizada como manancial para abastecimento público da cidade de São Paulo (MATEUS, 2002; ISA, 2006; RODRIGUES, 2008).

3. Materiais e Métodos

A pesquisa foi realizada em duas etapas principais: na primeira foi realizado o levantamento bibliográfico e de todos os dados disponíveis, no que se refere aos mapeamentos do meio físico. Na segunda etapa foram realizadas observações de campo por terra e sobrevoo e também interpretação de imagens de satélite.

A primeira etapa permitiu o reconhecimento regional da bacia tendo em vista que os mapas eram de escalas pequenas, conforme a seguir relatado, constituindo um passo essencial para orientar os estudos da segunda etapa.

Assim, esta análise dos principais fatores do meio físico foi realizada de forma qualitativa, dando-se ênfase às observações de campo, para avançar na elaboração de um modelo hipotético, o mais próximo possível da explicação da dinâmica dos processos de erosão e produção de sedimentos da bacia.

Neste sentido, esta análise pode ser considerada, metodologicamente, como uma primeira aproximação ao equacionamento do problema, para abrir as perspectivas de aprofundamento das questões ou lacunas que persistirem demandando um modelo mais avançado para a caracterização do assoreamento. Esta abordagem segue o método das hipóteses progressivas frequentemente adotadas pela Geologia de Engenharia e exposto por Santos (2002).

A **análise do meio físico** foi elaborada com base na literatura disponível, buscando-se verificar as relações solo-relevo-substrato litológico, segundo a abordagem exposta por Castro e Salomão (2000). Os aspectos climáticos foram fundamentados principalmente em Tarifa e Armani (2000). Os aspectos geológicos foram analisados com base no Mapa Geológico da CPRM (2006) na escala 1:750.000 e no texto correspondente de Perrota e al (2005). Para os aspectos geomorfológicos

foi elaborado um mapa baseado na legenda do mapa 1:1.000.000 de Ponçano *et al* (1981) e também nas medidas de declividade e densidade de drenagem, em cartas 1:50.000 do IBGE (1984) que permitiram realizar de forma consistente uma relação entre o conhecimento em escala 1:000.000 e 1:50.000. Para a Pedologia, os solos foram descritos com base em Oliveira *et al.* (1999), na escala de 1:500.000.

Com vistas à análise geoambiental pretendida foi realizada a **compartimentação da bacia em sub-bacias**, consideradas sub-sistemas, segundo abordagem sistêmica – geossistema de Christofolletti (1999), sendo mais adequado para a análise de processos que são dependentes de veículos hídricos – os cursos d’água – como o processo de assoreamento que dependem dos processos de transferência das áreas fontes de erosão para o reservatório (OLIVEIRA, 2013).

O primeiro critério de delimitação de sub-bacias, realizado em carta topográfica 1:50.000 do IBGE (1984), foi a identificação das desembocaduras no reservatório, considerando o princípio de que cada desembocadura representa o exutório de cada sub-bacia. Em seguida, foram delimitadas as sub-bacias cujos divisores de água coincidem com o divisor da bacia, ou seja, os maiores contribuintes. Nesta etapa foram definidas quatro sub-bacias maiores. No passo seguinte, foram delimitadas todas as sub-bacias com desembocadura no reservatório acima da ordem 1 de Strahler (1952 *apud* COELHO NETTO; AVELAR, 2007). Neste conjunto foram consideradas sub-bacias médias e pequenas separadas por tamanho, respectivamente acima e abaixo de 1 km². As bacias de ordem 1 e os terrenos sem drenagem definida na escala examinada, foram consideradas num conjunto denominado Sub-Bacias Marginais.

Após a compartimentação e análise dos dados disponíveis sobre o meio físico, foi realizada a **interpretação visual de imagens de satélite** com o objetivo de identificar as possíveis ocorrências de depósitos nas desembocaduras dos cursos d’água e também observações ao longo dos cursos d’água principais nas proximidades do reservatório, tendo sido usadas imagem de satélite IKONOS de 2012 e do *Google Earth*. Embora as imagens do *Google Earth* tenham qualidade variável, elas permitem observações históricas. Das várias datas disponíveis para esta pesquisa foi adotada a imagem *Google Earth* de 15/12/2008 de boa qualidade e numa

data em que o reservatório apresentava nível d'água cerca de 7,5 m abaixo do seu nível máximo, favorecendo as observações de corpos de assoreamento parcialmente emersos.

Em seguida foi realizado **reconhecimento de campo** por terra tendo sido executado o levantamento de 27 pontos escolhidos em situações favoráveis de margens de estradas vicinais acessíveis. Nestes pontos foram realizadas observações a respeito dos solos, relevo e substrato geológico, com realização de perfis de solos em taludes das estradas percorridas, sendo utilizados para posicionamento, GPS (Trimble *Pathfinder*) e o Programa *Google Maps* em Tablet (Samsung). A paisagem e perfis de solos foram registrados com máquina fotográfica. O reconhecimento do solo foi realizado de forma expedita, com elaboração de perfis pedológicos com análise tátil visual de textura, cor, estrutura e outras observações. As cores foram identificadas com a Tabela de Cores de Solos Munsell.

Com base nestas observações, foram revistos os conhecimentos de geologia, geomorfologia e pedologia, tratados em etapa anterior. O reconhecimento aéreo foi realizado com helicóptero com documentação fotográfica dos alvos programados.

Finalmente foi realizada a **análise dos aspectos geoambientais** em cada sub-bacia, de forma comparativa quanto ao potencial esperado de produção de sedimentos. Foram consideradas dois componentes principais na determinação do potencial de produção de sedimentos: o potencial de erosão e o potencial de transferência dos sedimentos (OLIVEIRA, 2013; QUEIROZ, 2014).

Quanto ao potencial de erosão foram considerados os solos, os relevos e as litologias mais suscetíveis e suas áreas de ocorrência em cada sub-bacia.

Quanto ao potencial de transferência foram considerados os componentes geomorfológicos, declividade e densidade de drenagem mais favoráveis, conforme Alves *et al* (2005), Oliveira *et al* (2005) e Oliveira (2013). As ocorrências destes componentes foram mapeadas em cada sub-bacia.

4. Resultados obtidos

Os resultados referem-se à análise qualitativa dos principais fatores condicionantes naturais de produção

de sedimentos, climáticos, geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

4.1 Aspectos climáticos

Com base em Tarifa e Armani (2000), na bacia do Guarapiranga, predominam dois tipos de climas, o Tropical Úmido de Altitude do Planalto Atlântico a norte da bacia e o Tropical Sub-oceânico Superúmido do Reverso do Planalto Atlântico, a sul. De forma geral, predomina na bacia o clima tipicamente úmido, com temperaturas médias entre 16° e 23°C, índices pluviométricos entre 1.600 e 2.500 mm anuais e elevados teores de umidade relativa do ar, tendendo a menor umidade média conforme se aproxima da mancha urbana. Quanto à classificação do clima pelo sistema internacional de Köppen, apresentado por Setzer (1966), a área da bacia está sob influência do clima C (clima temperado úmido, com temperatura média do mês mais frio entre 18° e 3°C), subdividido em Cfa (sem estação seca, total de chuvas do mês mais seco está acima de 30 mm e a temperatura média é superior a 22°C) e Cfb (sem estação seca, total de chuvas do mês mais seco está acima de 30 mm e a temperatura média é inferior a 22°C). Do ponto de vista da erosividade do solo, o mapa de Bertoni e Lombardi Neto (2012) - Mapa de Isoerodotes do Estado de São Paulo - considera toda a bacia como tendo um comportamento relativamente homogêneo. Portanto, concluiu-se que o clima não diferencia de forma significativa, para efeito da análise do potencial de erosão, uma sub-bacia da outra, na escala de abordagem adotada (1:50.000). A falta de estações meteorológicas no interior da bacia não permitiu detalhar o comportamento meteorológico que poderia indicar, por exemplo, a frequência de chuvas mais intensas.

4.2 Aspectos geológicos

Com base no Mapa Geológico na escala 1:750.000 da CPRM (2006), o texto correspondente de Perrotta *et al.* (2005) e as observações de campo, verificou-se que a área de estudo encontra-se inserida, em sua totalidade, no Domínio Embu, caracterizado por rochas metamórficas e ígneas neoproterozóicas, dispostas em uma extensa faixa segundo a direção NE-SW. Secundariamente, ocorrem sedimentos paleógenos correspondentes à Formação Resende, assim como depósitos aluvionares recentes.

Na **unidade cristalina**, ocorrem 4 unidades principais. A Unidade de Xistos Migmatizados, composta por muscovita-biotita-quartzo xisto e quartzo xisto alternados ritmicamente, encontra-se amplamente distribuídas na bacia, quase sempre em maciços muito alterados. Associam-se com frequência veios de quartzo e injeções de pegmatito com quartzo, muscovita e feldspato, com espessuras centimétricas. A Unidade Gnáissica ocorre em duas áreas, ao norte da bacia e no extremo sul. A Unidade de sericita-xistos, representada por sericita filito, metarenito, filito carbonoso, sericita-quartzo xisto, ocorre como um corpo no meio da bacia. A Unidade dos Granitóides compreende biotita-granitos e granodioritos ocorrem como corpos de menores dimensões podendo ser observados em ocorrências de blocos e matações.

Na **unidade sedimentar** ocorrem, segundo CPRM (2006), a Formação Resende, da Bacia Sedimentar de São Paulo, constituída por diamictitos e conglomerados com seixos, blocos e matações em matriz lamfítica arenosa, e os Depósitos Aluvionares de areia, cascalhos, silte, argila e turfas, nos fundos de vales, em especial nas extensas várzeas dos principais rios. Grande parte da ocorrência da Formação Resende encontra-se em área urbanizada, o que dificulta a identificação de afloramentos.

Nos aspectos geológicos deve-se destacar a natureza complexa das unidades cristalinas e a intensidade

da alteração das rochas. A natureza migmatítica e anatótica de parte do conjunto litológico cristalino e sua história tectônica implicam na dificuldade de separação entre diferentes unidades no mapeamento geológico. Por outro lado, os maciços rochosos, especialmente os migmatizados, são encontrados na superfície com intensa e profunda alteração com dezenas de metros de profundidade.

Frente aos processos erosivos, dados estes aspectos, foram destacados apenas os comportamentos diferenciados das grandes unidades litológicas. Foi considerado o baixo potencial de produção de sedimentos da Formação Resende e dos Depósitos Aluvionares, em relação aos maciços cristalinos, devido ocorrer nos relevos mais planos constituindo até mesmo terrenos sujeitos a agradação, como os depósitos aluvionares das planícies extensas dos fundos dos vales, próximos ao reservatório. Embora cada unidade cristalina possa apresentar litologias com comportamentos erosivos diferentes, a comparação entre elas permitiu destacar a Unidade de Xistos Migmatizados como a mais suscetível, tendo em vista apresentar perfis com alteração profunda, sujeitos a ravinamentos, como exemplifica a Figura 2. Assim, restaram os demais maciços cristalinos, sericita-Xistos, gnaisses e granitóides, com um potencial que foi considerado intermediário. O mapa da Figura 3 apresenta as unidades estabelecidas.



Figura 2 - Ravina em Xistos Migmatizado alterados em leito de estrada vicinal, no município de Itapeperica da Serra (Foto de A. M. S. Oliveira, 05/2013).

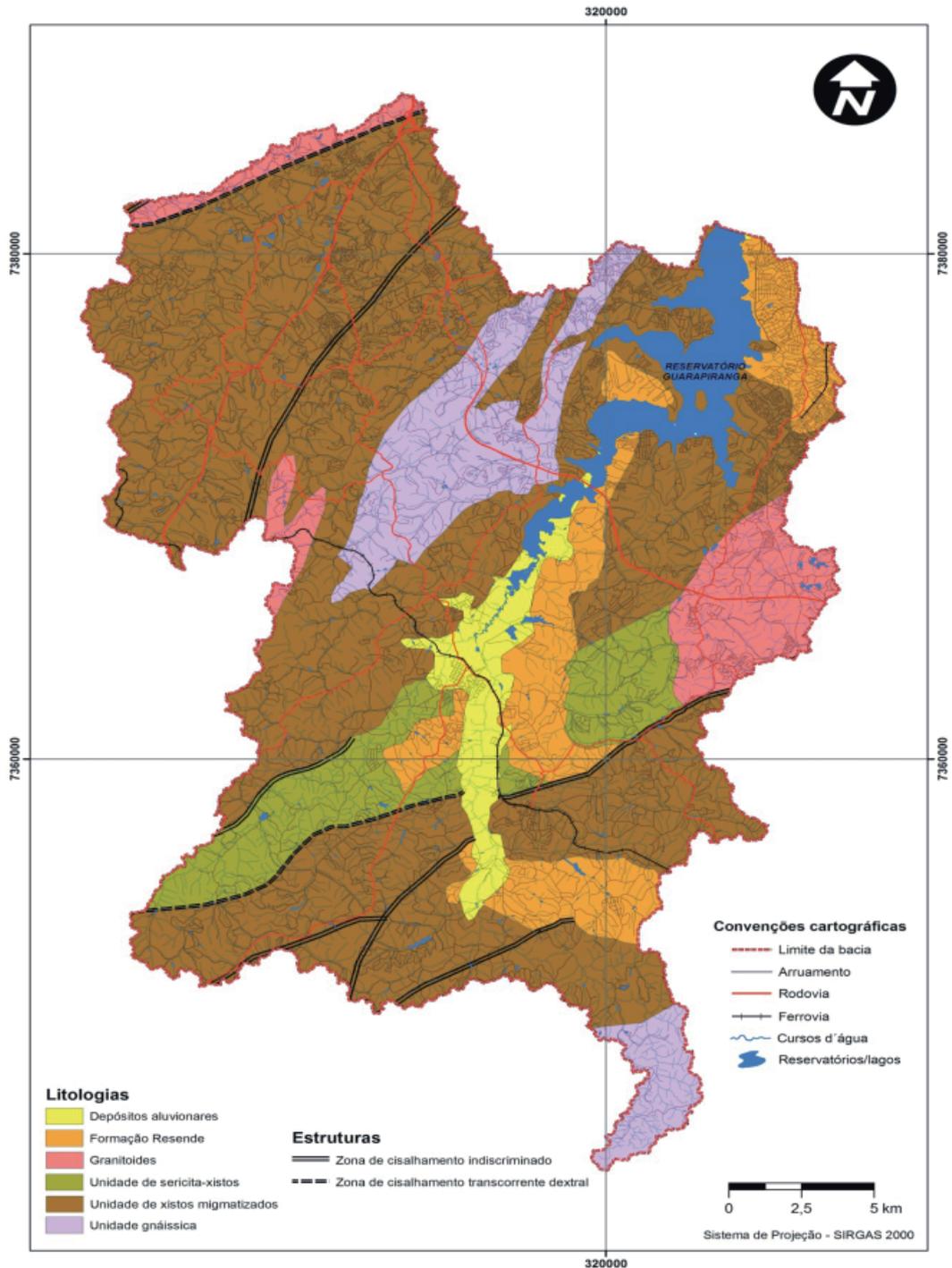


Figura 3 - Mapa geológico da bacia do Guarapiranga (Modif. de CPRM, 2006).

4.3 Aspectos geomorfológicos

A área objeto, situando-se no Planalto Paulistano, na borda da bacia sedimentar de São Paulo, foi submetida a movimentos tectônicos, provavelmente associados à reativação da estrutura do Rift Continental do Sudeste Brasileiro que alterou significativamente a

estrutura geológica da região (RICCOMINI *et al.*, 2004) condicionando o relevo. Formou-se ainda no Eoceno/Oligoceno a Bacia Sedimentar de São Paulo que teria encerrado sua deposição no Mioceno, seguido de processos erosivos e de entalhamento dos cursos d'água durante o Quaternário. Além dos ciclos erosivos que

se estabeleceram (AB'SABER, 1957[2007]), esforços neotectônicos devem ter ainda persistido, ao ponto destes processos, de forma combinada ou não, terem concorrido para alterações significativas da paisagem, até o cenário atual, o que é sugerido pela forma assimétrica da bacia do Guarapiranga, cuja vertente esquerda se alarga ao fim da bacia. Esta porção alargada da bacia é marcada pelo desvio de rumo do Rio Embu Mirim que

teve seu curso alterado de norte para sul, capturado pelo Rio Embu Guaçu.

As observações de campo permitiram a elaboração de um mapa de relevo da área da bacia (Figura 4), considerando-se a legenda de Ponçano *et al* (1981), a hipsometria, a densidade de drenagem e as observações de campo. O Quadro 1 apresenta uma síntese das formas de relevo da bacia, a seguir apresentadas.

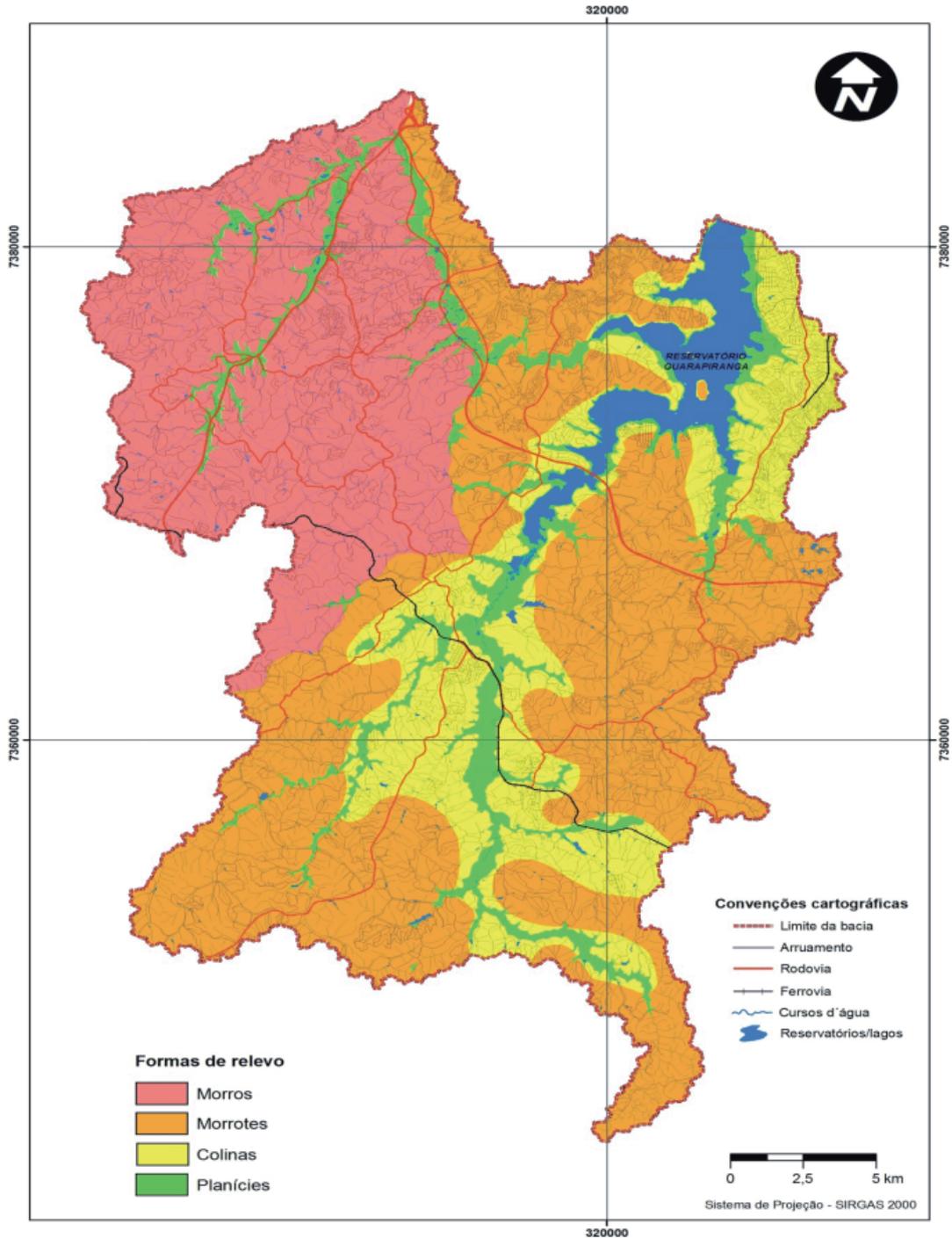


Figura 4 - Mapa Geomorfológico da Bacia do Guarapiranga (OLIVEIRA, et al., 2013).

Quadro 1: Características das principais formas de relevo (Modif. de Oliveira et al., 2013)

Tipo de relevo	Ocorrência na bacia	Altitude	Amplitude	Declividade	Densidade de Drenagem (km/km ²)	Características
Morros	A noroeste – Planalto de Ibiúna, vertente esquerda da sub-bacia do Embu Mirim.	> 840m	100 a 200 m	> 30%	> 2,8	Topos arredondados a planos, vertentes com perfis convexos a retilíneos e vales fechados a abertos.
Morrotes	A oeste, sudoeste e leste do Reservatório.	780 a 840 m	< 100 m	5 – 30%	1,8 – 2,8	Topos arredondados, vertentes com perfis convexos e retilíneos. Vales fechados a abertos.
Colinas	A sul ao longo do eixo do rio Embu Guaçu e nas margens direita e esquerda do reservatório.	760 a 780 m	< 50 m	5 %	1,1 – 1,8	Declividades suaves. Vales abertos a fechados.
Planícies aluviais	Acompanham os principais cursos d'água.	< 760 m	< 20 m	0 – 5%	< 1,1	Terrenos baixos estando periodicamente sujeitos a inundação.

4.4 Aspectos pedológicos

Para a Pedologia, as observações de campo, tendo como base Oliveira *et al.* (1999), permitiram a elaboração do mapa de solos da bacia apresentado na Figura 5, cujos atributos são apresentados a seguir.

Cambissolos. No mapeamento de Oliveira *et al.* (1999), percebe-se que a ocorrência intensa de Cambissolos na área se dá do centro ao norte, nos entornos das áreas urbanas de Embu e São Paulo e também no entorno do reservatório. Apresentam um horizonte A sobre um horizonte B incipiente (Bi) (Oliveira, 2008); os horizontes podem ter cores diversas, e esses solos podem ocorrer cascalhentos, pedregosos e até rochosos (IBGE, 2007). De maneira geral, são solos em estágio intermediário de intemperismo, em geral não muito profundos. Na bacia os Cambissolos se associam a Latossolos e Neossolos Litólicos, ocorrendo com mais frequência na região norte/noroeste da bacia, na bacia do rio Embu Mirim, na unidade morros.

Latossolos. Segundo Oliveira *et al.* (1999), compreendem Latossolos vermelho-amarelos (LVA) e associação de Latossolos vermelho-amarelos + Cambissolos háplicos (LVA + CX). Estão distribuídos por toda a área e concentram-se em relevo menos declivoso que dos Cambissolos. Os Latossolos são caracterizados

como muito intemperizados, mais profundos que os Cambissolos, de boa drenagem; apresentam grande homogeneidade de características ao longo do perfil, ausência de minerais primários de fácil intemperização e mineralogia de fração argila predominantemente caulínica (IBGE, 2007).

Argissolos. Segundo Oliveira *et al.* (1999) há uma pequena unidade de Argissolos ao norte da bacia, próxima à área urbana de Embu. A Figura 5 apresenta -o também, nos arredores do reservatório, no ribeirão do Cipó, ao sul da bacia e nos arredores dos cursos d'água, em relevo pouco movimentado. A característica marcante desse tipo de solo é o aumento de argila que acontece do horizonte superficial (A) ao subsuperficial (B), do tipo textural - Bt (IBGE, 2007). Tal horizonte apresenta argila de atividade baixa. Os Argissolos podem ocorrer na bacia associados a outros tipos de solo, como o Latossolo e o Cambissolo.

Gleissolos. No referido mapa percebe-se a ocorrência de Gleissolos acompanhando os principais cursos d'água da região em suas planícies de inundação e no entorno do reservatório Guarapiranga. Trata-se de solos hidromórficos, com lençol freático em superfície ou quase aflorando, apresentam horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 150 cm de superfície, logo abaixo de um horizonte A ou E (Oliveira *et al.*, 2008).

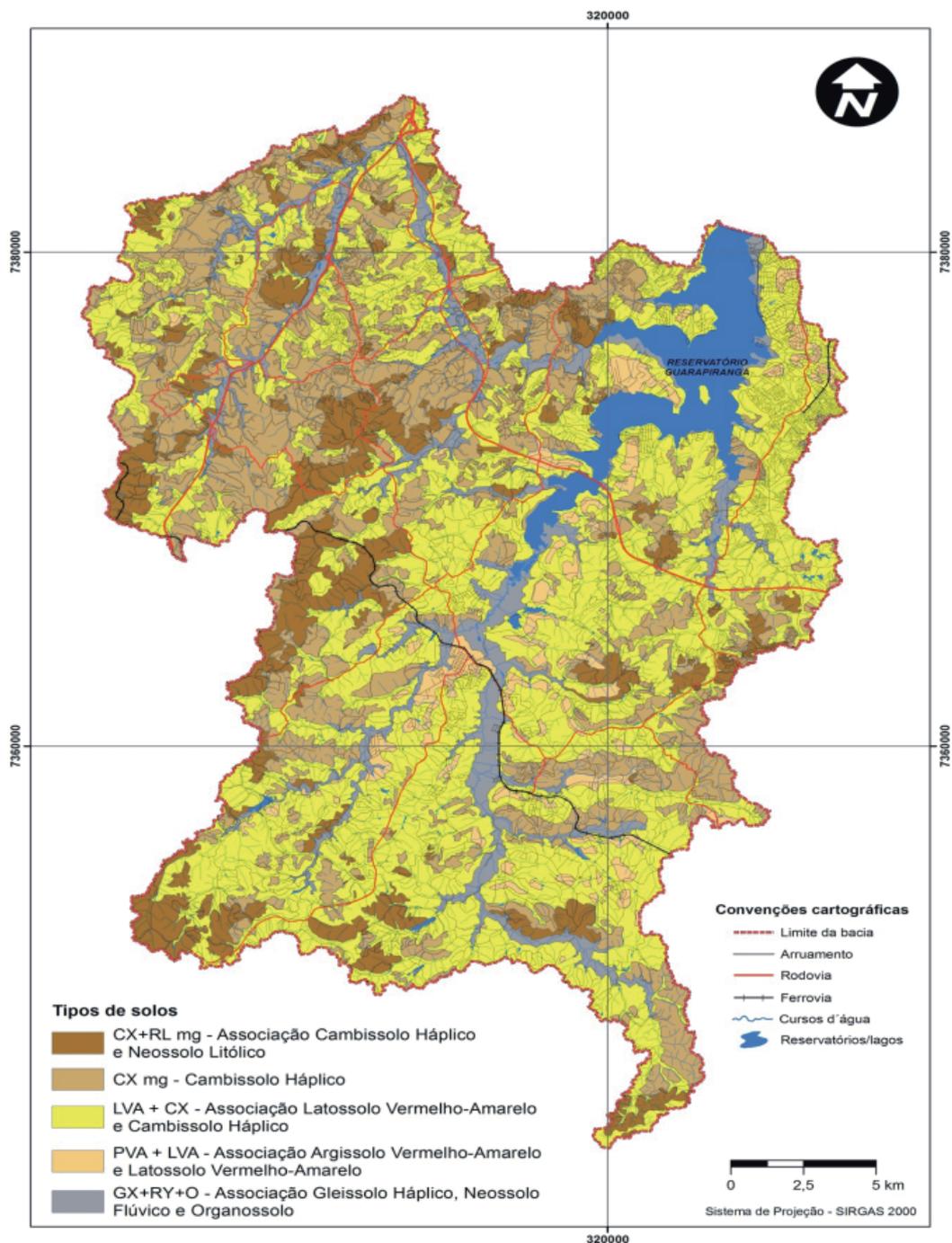


Figura 5 - Mapa Pedológico da Bacia do Guarapiranga (OLIVEIRA et al., 2013).

Frequentemente, esses solos associam-se a Neossolos Flúvicos e Organossolos e possuem alta suscetibilidade a inundações.

Neossolos Litólicos. Acompanham as partes mais íngremes do relevo, principalmente na porção norte/noroeste com altos declives, associados aos Cambissolos, compreendendo solos minerais pouco desenvolvidos, com profundidades de até 0,50m. Apresentam sequência

de horizontes A – R ou A – C – R, horizonte superficial A do tipo moderado, textura média e argilosa e estrutura granular.

Considerando as diferentes erodibilidades, os solos, com base nas observações de campo foram agrupados em três conjuntos. Os de menor potencial à erosão estão representados pelos Gleissolos, aliás, sujeitos a agradacão, por se situarem nos fundos dos vales. Os

Cambissolos e Neossolos Litólicos apresentam maior potencial. De forma intermediária foram situados os Latossolos e Argissolos.

5. Análise Geoambiental das Sub-Bacias

Conforme proposta metodológica esta análise foi conduzida de forma sistêmica no intuito de configurar um modelo consistente entre as observações de campo e os dados disponíveis na literatura.

A Figura 6 apresenta a compartimentação final,

sendo as sub-bacias médias, pequenas e marginais agrupadas em um único conjunto denominado Conjunto de Sub-bacias Menores, que ocorre junto ao reservatório. O mapa mostra as quatro sub-bacias maiores, Caulim, Embu Guaçu, Embu Mirim e Santa Rita, que somam 76,9% (490,19 km²) da área total da bacia, o que significa que hidrologicamente e hidrosedimentologicamente estas governam, de uma forma geral, o reservatório do Guarapiranga (CARVALHO, 2003). A área restante, 23,1% (147,61 km²), é composta por um conjunto de sub-bacias menores.

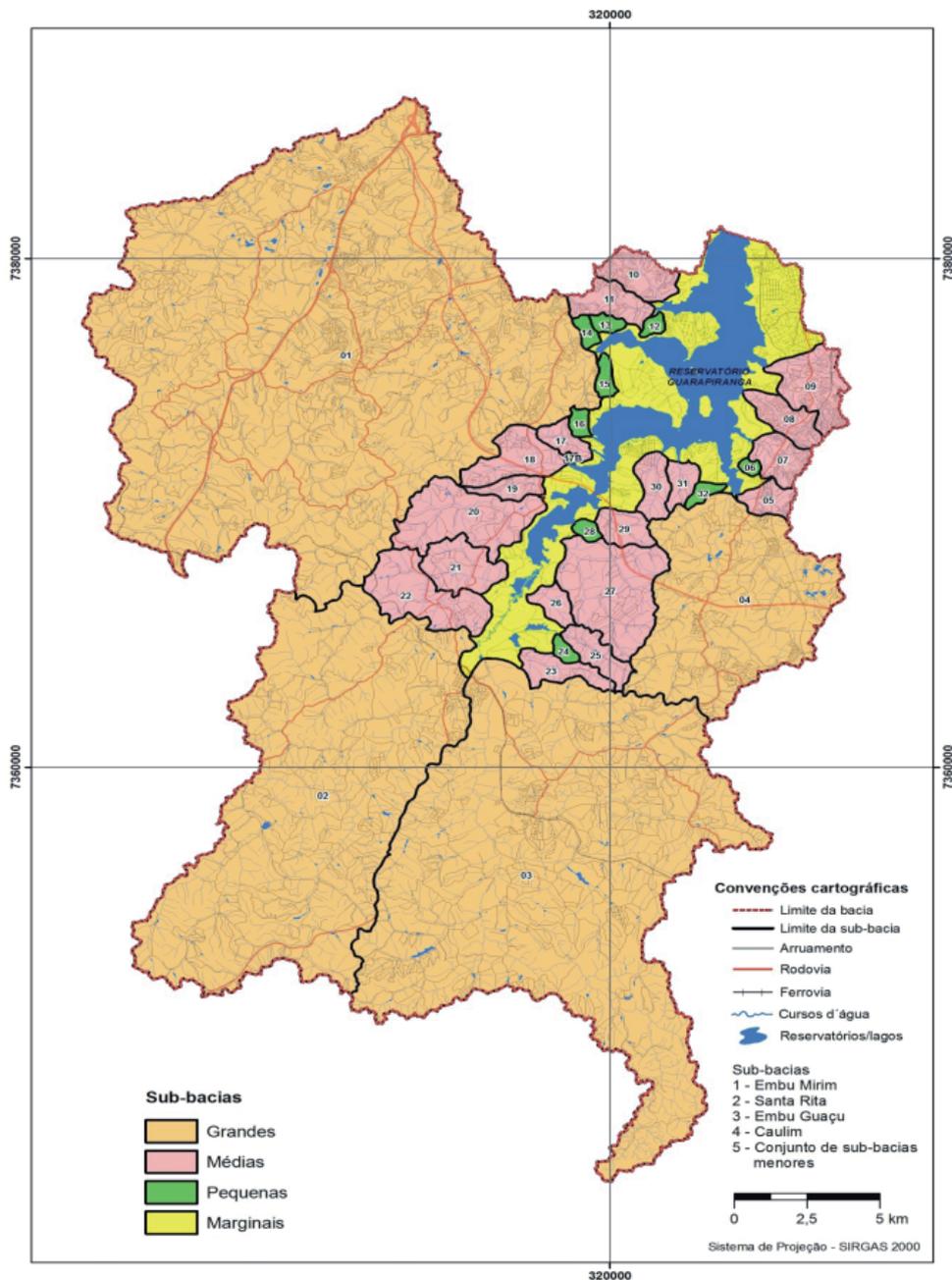


Figura 6 - Mapa de compartimentação das sub-bacias da Guarapiranga (OLIVEIRA et al., 2011).

A Tabela 1 apresenta uma síntese da análise geo-ambiental efetuada organizada por sub-bacias.

Verifica-se, nesta Tabela, a importância da sub-bacia do Embu Mirim que, além de ser a maior (206,41 km²) ou cerca de 1/3 da bacia do Guarapiranga, concentra as maiores áreas de componentes naturais de alto potencial de erosão. Como passo metodológico seguinte foi analisado o potencial de transferência de sedimentos

para verificar condições mais ou menos favoráveis a transferir os sedimentos das áreas fontes (erosão) para os cursos d'água e destes para o reservatório. Para esta análise foram considerados dois conjuntos de fatores: declividades e densidade de drenagem, com base em Alves *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2005). A Tabela 2 apresenta estes fatores segundo seus valores de maior potencial de transferência de sedimentos.

Tabela 1: Componentes do meio físico com maior potencial de erosão.

Sub-bacia (Área km ²)	Componentes do meio físico com maior potencial de erosão					
	da Litologia: Xistos migmatizados		da Geomorfologia: Morros		da Pedologia: Cambissolos e Neossolos Litólicos	
	Área (km ²)	% da sub-bacia	Área (km ²)	% da sub-bacia	Área (km ²)	% da sub-bacia
Embu Mirim (206,41)	168,27	81,52	161,56	78,27	121,58	58,90
Santa Rita (101,31)	65,67	64,82	9,95	9,82	42,37	41,82
Embu Guaçu (141,45)	77,68	54,92	-	-	47,82	33,81
Caulim (41,02)	9,41	22,94	-	-	12,28	29,93
Conjunto de sub-bacias menores (147,61)	77,92	52,79	8,71	5,90	43,94	29,77
Total na bacia (637,80)	398,95	62,55	180,22	28,26	267,99	42,02

Tabela 2: Fatores de maior potencial de transferência de sedimentos.

Sub-bacia (Área km ²)	Componentes de maior potencial de transferência de sedimentos			
	da Declividade: Maior que 30 %		da Densidade de Drenagem: Maior que 2,8 km/km²	
	Área (km ²)	% da sub-bacia	Área (km ²)	% da sub-bacia
Embu Mirim (206,41)	50,03	24,24	161,56	78,27
Santa Rita (101,31)	26,70	26,35	9,95	9,82
Embu Guaçu (141,45)	14,46	10,22	-	-
Caulim (41,02)	8,60	20,97	-	-
Conjunto de sub-bacias menores (147,61)	7,30	4,95	8,71	5,90
Total na bacia (637,80)	107,90	16,79	180,22	28,26

Observa-se nesta Tabela que a sub-bacia do Embu Mirim também se destaca em área com maior potencial de transferência de sedimentos, seja no que se refere à declividade, com 50,03 km² de áreas com declividades superiores a 30 %, seja relativamente à densidade de drenagem, com 161,56 km² de áreas com densidade superior a 2,8 km/km². Assim, conclui-se que o comportamento da Sub-bacia do Embu Mirim é determinante para o processo de assoreamento do reservatório Guarapiranga.

O passo seguinte foi aprofundar esta análise com a interpretação de imagens de satélite e as observações de campo. De forma geral as grandes sub-bacias (Embu Mirim, Santa Rita, Embu Guaçu e Caulim) e as sub-bacias médias da margem direita onde o relevo é suave, de

colinas, apresentam em suas desembocaduras, extensas planícies aluvionares que constituem geoambientes propícios para a retenção de sedimentos, especialmente os mais grosseiros, transportados por arraste, impedindo-os que atinjam o reservatório. Esta vocação das desembocaduras é bem destacada na planície do Embu Guaçu, declarada Parque Estadual Várzea do Embu Guaçu (Figura 7), o que constitui medida acertada para manter a vocação destas planícies como retentoras de sedimentos.

De fato, bacias com alta suscetibilidade à erosão podem apresentar limitações nas transferências dos sedimentos aos corpos d'água quando a geomorfologia não é favorável conforme já observado por Alves *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2005).



Figura 7 - Planície do rio Embu Guaçu e Ribeirão Santa Rita onde foi implantado o Parque Estadual da Várzea do Embu Guaçu (Foto de W. Queiroz, 28/11/2013).

Com efeito, não foram observados, nas imagens e no sobrevoo realizado, depósitos significativos de assoreamento nestas desembocaduras. Além de o rio Embu Mirim mostrar, próximo ao reservatório, um comportamento meandrante em planície aluvionar, apresenta lagoas de antigas cavas de mineração que constituem importantes elementos de retenção de se-

dimentos. E ainda, imediatamente antes de desaguar no reservatório, a planície é estrangulada na altura da ponte da Estrada da Cumbica. Todos esses elementos constituem resistências ao transporte de sedimentos, verdadeiros *trapps* (armadilhas) de sedimentos que contribuem, no mínimo, para retardar seu transporte, restringir a contribuição para o reservatório e selecionar

os sedimentos finos que entram no reservatório. Estas observações são compatíveis com os resultados da pesquisa de Campagnoli (2002) que aponta a ocorrência de depósitos arenosos apenas em algumas desembocaduras concluindo que o assoreamento deste reservatório se caracteriza por apresentar “*extensa deposição argilosa que forma paisagem monótona no interior do lago com espessura de alguns centímetros (20 ou 30 cm)*”. Um dos depósitos de desembocadura mais expressivos é

o do Córrego Guavirutuba (Figura 8), que ocorre em sub-bacia de porte médio (3,65 km²), em terrenos com certa declividade (morrotes) da margem esquerda e com intensa ocupação urbana, estudado em detalhe por Silva (2005) que propôs o conceito de níveis de colmatagem, função da observação da área emersa do depósito de assoreamento. A Figura 8 apresenta o referido depósito com nível d’água a 1,52 metros abaixo do nível máximo (736,62 m).



Figura 8 - Desembocadura do córrego Guavirutuba com expressivo depósito de assoreamento (Foto de W. Queiroz, 28/11/2013).

Do conjunto de fatores geoambientais naturais destaca-se de fato, a assimetria das margens do reservatório no reconhecimento de campo, sendo a margem esquerda mais declivosa, com presença de morrotes, falésias de expressiva altura e vários processos de erosão marginal, e, a direita, mais suave, com predominância de colinas, com terrenos suaves sem descontinuidade com o nível do reservatório.

O modelo de assoreamento, concebido a partir desta análise, como primeira hipótese progressiva (SANTOS, 2008) e observando os resultados de pesquisas de Campagnoli (2002), Silva (2005) e Queiroz (2014) corresponde aos padrões de deposição de Morris e Fan (1998) de afilamento, como corpo argiloso depositado no fundo do reservatório, produzido pelas grandes sub

-bacias, combinado ao padrão deltáico que ocorre em algumas desembocaduras das sub-bacias menores, de relevo mais acidentado e com ocupação.

6. Conclusões

Os resultados obtidos constituem uma primeira aproximação para a análise de produção de sedimentos da bacia e favorecem o planejamento objetivo de pesquisa do assoreamento do reservatório por prospecção direta com equipamentos adequados. Verificou-se que o método de se buscar consistência entre a análise de dados disponíveis e as observações do reconhecimento de campo, possibilitou elaborar uma caracterização do problema, podendo-se avançar para aspectos fundamen-

tais da produção de sedimentos da bacia do Guarapiranga, a seguir destacados.

As sub-bacias de grande porte constituem as principais fontes de sedimentos do reservatório. Entretanto suas configurações geomorfológicas de atenuação do relevo, das cabeceiras para o reservatório, com a formação de extensas planícies aluvionares até as desembocaduras, favorecem a retenção dos sedimentos, sobretudo os mais grosseiros, permitindo que apenas sedimentos em suspensão possam contribuir para assorear o fundo do reservatório. Dentre estas sub-bacias destaca-se a do Embu Mirim.

A margem direita por apresentar áreas de terrenos suaves, de baixas declividades, em colinas extensas, oferecem um potencial de produção de sedimentos mais reduzido que os terrenos da margem esquerda com seus morrotes que, junto ao reservatório, em alguns trechos são erodidas intensamente na forma de falésias de grande expressão.

O uso do solo na intensa ocupação urbana, seja induzindo o incremento da produção, como no Jardim Ângela (Córrego Guavirutuba), seja retendo os sedimentos, como nas antigas cavas da várzea do Embu Mirim, constituem importantes fatos da produção de sedimentos das bacias.

Este quadro sugere que as proximidades do reservatório são as áreas geoambientalmente mais sensíveis à ocupação do solo com respeito ao assoreamento e devem ser objeto prioritário de cuidado do poder público como, aliás, já expressou ao estabelecer um parque nas várzeas do Embu Guaçu.

O passo seguinte da pesquisa será, portanto o de caracterizar o uso do solo e suas relações com os fatores naturais aqui estudados para avançar na caracterização das condições de assoreamento do reservatório Guarapiranga.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo como parte do Projeto Temático do Processo FAPESP 2009/53898-9 e pela Secretaria de Educação do Estado de São Paulo que patrocinou bolsa de mestrado do primeiro autor desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A. N. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. São Paulo: Ateliê Editorial. Ed. fac-similar Bol. 219. FFCL – USP. 349 p. 1957 [2007].
- ALVES, C. F. C.; OLIVEIRA, A. M. S.; IWASA, O. Y. Análise qualitativa do potencial de produção de sedimentos da bacia do alto rio Araguaia, MT/GO, Brasil. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 7., 2005, Évora. **Anais...** Lisboa: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos - APRH, 2005.
- ANDRADE, A. A. S. **Análise da eficiência da várzea do Ribeirão Parelheiros na melhoria da qualidade das águas que afluem à Represa do Guarapiranga**. 2005. São Paulo. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Paulo, 2005.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 2012. 8ª ed. p. 82-85.
- BEYRUTH, Z. As algas e a previsão da qualidade ambiental – Represa de Guarapiranga. In: **Anais do 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Fortaleza, 2000.
- BICUDO, C. E. M. **Reconstituição paleolimnológica da represa da Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP com vistas ao gerenciamento do abastecimento**. Projeto do Instituto de Botânica de São Paulo. Processo FAPESP: 2009/53898-9. 2010.
- CAMPAGNOLI, F. **A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na Bacia do Alto Tietê, SP**. 2002. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CARVALHO, M. C. **Comunidade fitoplanctônica como instrumento de biomonitoramento de reservatórios no Estado de São Paulo**. 2003. 167 f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência. 2008. 2ª ed. 599 p.
- CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. São Paulo: **Revista GEOUSP**. v. 7. p. 27-37. 2000.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

- COBRAPE. **Atualização do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica da Guarapiranga**. São Paulo: Cobrape, 2011.
- COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. **O uso da terra e a dinâmica hidrológica**. In: SANTOS, R. F. (Org.) Vulnerabilidade Ambiental. Brasília: MMA. 2007. p. 59-73.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. [Escala] 1:750.000. Organizado por PERROTTA, M. M. et al. 2005 - Programa Geologia do Brasil. São Paulo: CPRM, 2006.
- FONTANA, L.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; BRENNER, M.; BONOTTO, D. M.; SABARIS, T. P. P.; PIRES, M. A. F.; COTRIM, M. E. B.; BICUDO, D. C. The eutrophication history of Guarapiranga Reservoir, São Paulo, Brazil. **Journal of Paleolimnology** 51:29-43. 2014.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE. 2ª ed. 2007.
- INSTITUTO SÓCIOAMBIENTAL (ISA). Evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da Guarapiranga de 1989 a 2003. **Seminário Guarapiranga**. São Paulo, 2006.
- MATEUS, R. S. **O Ritmo Climático e o abastecimento da água na RMSP – o caso do Sistema Guarapiranga**. TGI, FFLCH, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- MATEUS, R. S. **Modelo hidrológico da Bacia Hidrográfica da Represa de Guarapiranga, São Paulo (SP)**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP. São Paulo, 2006.
- MORRIS, G. L.; FAN, J. **Sediment Deposits in Reservoirs**. In: Reservoir Sedimentation Handbook. New York: McGraw-Hill Book Co. 1998. p.10.2-10.3
- MOZETO, A. A.; SILVÉRIO, P. F.; SOARES, A. Estimates of benthic fluxes of nutrients across sediment and water interface (Guarapiranga Reservoir, São Paulo, Brazil). **Science of the Total Environment**, EUA, v. 266, n.1-3, 2001. p. 135-142.
- OLIVEIRA, A. M. S.; ALVES, C. F. C.; GAMA, R. G.; FERRACINI, M. M.; PERRELA, M. C. V.; CARVALHO, N. O.; CELER, A. Densidade de drenagem da bacia incremental do reservatório de Porto Primavera, rio Paraná (SP/MS): perspectiva de sua adoção como indicador de produção de sedimentos das bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia – Geomorfologia Fluvial**. Ano 6, n. 1, Vol. Especial, 2005. P. 33-44.
- OLIVEIRA, A. M. S. **Assoreamento**. In: TELLES, D. A. (Org.) Ciclo Ambiental da Água: da Água à Gestão. São Paulo: Edgard Blucher, 2013. p. 347-369.
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” / Universidade de São Paulo (ESALQ / USP). 3ª ed. 2008.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 1999.
- PERROTTA, M. M. SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D’AGOSTINO, L. Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B; MEIRA, V. T.; GARCIA, M. G. M.; LACERDA FILHO, J. V. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:750.000. Programa Geológico do Brasil - PGB. CPRM. São Paulo, 2005.
- PONÇANO, W. L. (Coord.). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:1.000.000. Publicação 1183, Monografias 5, 130p.
- QUEIROZ, W. **Análise Geoambiental da bacia contribuinte do Reservatório Guarapiranga (SP) para avaliação da produção de sedimentos**. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental). Universidade Guarulhos. Guarulhos, 2014.
- RICCOMINI, C.; SANT’ANNA, L.G.; FERRARI, A. L. **Evolução Geológica do Rift Continental do Brasil**. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Org.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando F. M. de Almeida. São Paulo: BECA, 2004. p. 383 – 406.
- RODRIGUES, L. L. **Biodiversidade de cianobactérias e algas das represas Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil**. 2008. 197 f. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências. São Paulo, 2008.
- SANTOS, A. R. **Geologia de Engenharia**: conceitos, métodos e prática. São Paulo: ABGE, 2002. 222 p.
- SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí. 61p. 1966.
- SILVA, J. P. **Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios**: análise comparativa de duas bacias hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo. 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia

Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. **Unidades climáticas urbanas na cidade de São Paulo**. São Paulo: PMSP/SVMA – Relatório Preliminar do Projeto “Atlas Ambiental do Município de São

Paulo”. 2000.

TRIMBLE, S. W. Denudation studies: can we assume streams steady state? **Science**, 188:1207-1208. 1975.

WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, 65: 209-237. 1983.